

Е.П. ИВАНИЦКАЯ, канд. техн. наук, доцент, НТУ “ХПИ”

О ТИПИЗАЦИИ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРИВОДОВ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ЦИЛИНДРОМ

Все різноманіття гідравлічних дросельних приводів з вертикальним гідравлічним циліндром можна звести до восьми гідравлічних модулів залежно від напрямку руху поршня, наявності чи відсутності дроселя (або регулятора витрати), і розташування його у напірній чи зливальній магістралях. Приведені математичні моделі восьми основних типів гідравлічних модулів з вертикальним гідравлічним циліндром, шток якого орієнтовано донизу.

Все разнообразие гидравлических дроссельных приводов с вертикальным гидравлическим цилиндром можно свести к восьми гидравлическим модулям в зависимости от направления движения поршня, наличия или отсутствия дросселя (или регулятора расхода), и расположения его в напорной или сливной магистралях. Приведены математические модели восьми основных типов гидравлических модулей с вертикальным гидравлическим цилиндром, шток которого ориентирован вниз.

All variety hydraulic throttle drives with the vertical hydraulic cylinder which rod it is oriented downwards, it is possible to reduce to eight hydraulic modules depending on a direction of movement of the piston, presence or absence of an among choke (or an expenditure regulator) and its arrangements in pressure head or drain turnpikes. Mathematical models of eight basic types of hydraulic modules with the vertical hydraulic cylinder which rod is oriented downwards are reduced.

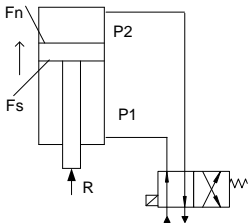
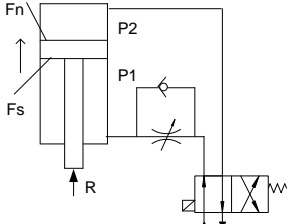
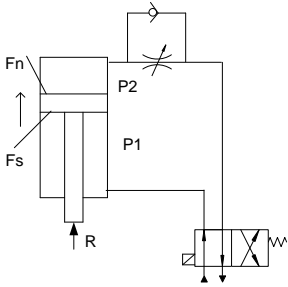
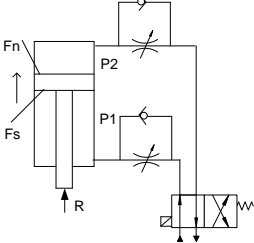
Введение. Гидрофицированные машины широко применяются в различных отраслях техники. Разнообразие гидравлических приводов определяется уникальностью технологических машин, в которых они применяются. Поэтому вопрос типизации гидравлических приводов является актуальным.

Цель статьи. Целью данной работы является вопрос типизации и моделирования работы гидравлических приводов с вертикальным одноштоковым гидравлическим цилиндром (ГЦ), шток которого ориентированный вниз.

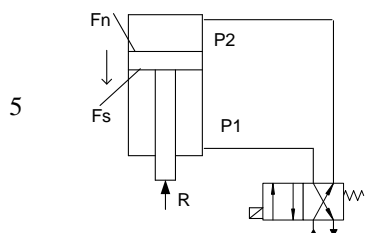
Понятие гидравлического блока (модуля). Будем считать, что любую гидравлическую схему можно представить в виде гидравлического блока (модуля), который состоит из: ГЦ; гидравлического распределителя (в общем случае двухпозиционного четырех линейного); дросселя с обратным клапаном; напорной магистрали, соединенной с насосом; сливной магистрали, соединенной с баком (см. блок (модуль) № 1 – 8 табл. 1, 2) [1, 2].

Типизация гидравлических приводов с вертикальным ГЦ (шток ориентирован вниз). Используя понятие гидравлического блока (модуля), все имеющиеся гидравлические схемы с вертикальным одноштоковым ГЦ целесообразно свести к восьми гидравлическим модулям. Первые четыре модуля осуществляют выдвигание штока ГЦ. При этом распределитель находится в левой рабочей позиции (см. блок (модуль) № 1 – 4 табл. 1, 2).

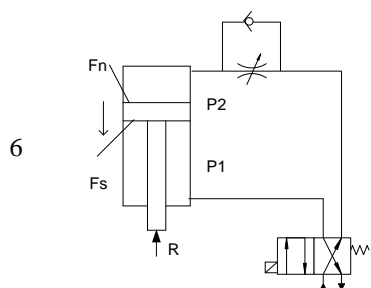
Таблица 1 – Гидравлические модули с горизонтальным гидравлическим цилиндром

№ модуля	Гидравлическая схема модуля	Направление движения поршня		Дроссель установлен в магистрали		отсутствует
		выдвижение	втягивание	напорной	сливной	
1		+	-	-	-	+
2		+	-	+	-	-
3		+	-	-	+	-
4		+	-	+	+	-

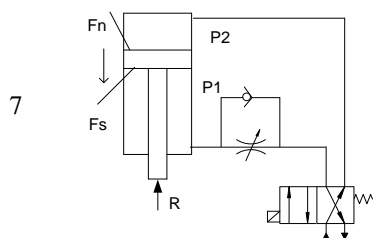
Продолжение таблицы 1



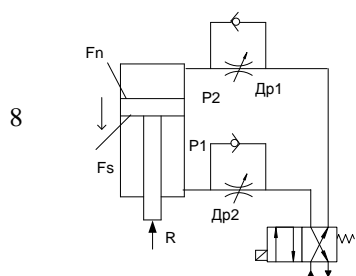
- + - - +



- + + - -



- + - + -



- + + + -

Гидравлические модули с пятого по восьмой осуществляют вытягивание штока ГЦ. Распределитель при этом находится в правой рабочей позиции (см. блок (модуль) № 4 – 8 табл. 1, 2).

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №1: Шток выдвигается. Дроссели отсутствуют;

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №2: Шток выдвигается. Дроссель установлен в напорной магистрали;

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №3: Шток выдвигается. Дроссель установлен в сливной магистрали;

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №4: Шток выдвигается. Дроссели установлены в напорной и сливной магистралях;

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №5: Шток вытягивается. Дроссели отсутствуют;

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №6: Шток вытягивается. Дроссель установлен в напорной магистрали;

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №7: Шток вытягивается. Дроссель установлен в сливной магистрали;

Гидравлический модуль с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) №8: Шток вытягивается. Дроссели установлены в напорной и сливной магистралях.

Основные типы уравнений, описывающие работу гидравлического привода [3]. При построении математических моделей, будем использовать следующие допущения: отсутствуют утечки рабочей жидкости (РЖ); сухое трение равно нулю; волновые процессы в трубопроводах отсутствуют; температура РЖ постоянна (т.е. постоянными считаем коэффициенты кинематической вязкости и силы трения); потери на трение в магистралях и обратном клапане, золотнике и другой аппаратуре не учитываются; давление в сливной магистрали равно нулю; радиальный зазор между втулкой и золотником в золотниковых распределителях принимаем равным нулю; рабочие кромки считаем острыми; принимаем, что соединительные каналы велики по сечению и коротки по длине; постоянным принимаем модуль упругости РЖ.

1. Уравнение неразрывности. Уравнение неразрывности выражает закон сохранения массы движущейся жидкости. Для двух поперечных сечений одного и того же потока идеальной жидкости уравнение неразрывности можно записать в виде:

$$Q_1 = Q_2 \qquad \text{или} \qquad V_1 S_1 = V_2 S_2, \qquad (1)$$

где $Q_1, Q_2, V_1, V_2, S_1, S_2$ - расходы, скорости и площади поперечных сечений 1-1 и 2-2.

Оно показывает, что в любом сечении потока при установившемся движении несжимаемой РЖ расход ее постоянен. Так, например, для гидравлической системы с дроссельным способом регулирования скорости (модуль 3 табл. 2) при левой рабочей позиции распределителя уравнение неразрывности имеет вид:

$$Q_n = Q_{p1} = Q_{ц1}; \quad Q_{ц2} = Q_{op} = Q_{p2} = Q_{б}, \quad (2)$$

где Q_n - расход насоса; Q_{p1}, Q_{p2} - расход через распределитель; $Q_{ц1}$ - расход поршневой полости ГЦ; $Q_{ц2}$ - расход штоковой полости ГЦ; Q_{op} - расход через дроссель; $Q_{б}$ - расход, поступающий из ГЦ через распределитель в бак.

2. Уравнение движения подвижных элементов. Это уравнение составляют на основании основного закона динамики - второго закона Ньютона: в инерционных системах отсчета ускорение материальной точки (тела) прямо пропорционально вызывающей его силе, совпадает с нею по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки (тела).

Уравнение динамики исполнительного органа гидравлического привода, описывающее движение поршня как твердого тела, в соответствии с законами механики, а именно на основе принципа Даламбера (согласно которому сила инерции равна разности активных сил и сил сопротивления), запишем в виде:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = p_1 F_n - (p_2 F_s + R + R_t), \quad (3)$$

где m - приведенная к поршню масса подвижных частей и РЖ; p_1, p_2 - давление в полостях гидроцилиндра; F_n, F_s - эффективные площади поршня в поршневой и штоковой полостях ГЦ; R - нагрузка; R_t - силы трения; x - перемещение поршня.

При установившемся движении или состоянии покоя подвижного элемента уравнение (3) преобразуется в уравнение баланса сил, действующих на подвижный элемент (уравнение равновесия сил):

$$p_1 F_n = (p_2 F_s + R + R_t). \quad (4)$$

3. Уравнение расходов РЖ через аппаратуру. Для ГЦ без учета сжимаемости РЖ, уравнение расхода имеет вид:

$$Q_{ц1} = F_n V; \quad Q_{ц2} = F_s V, \quad (5)$$

где V - скорости поршня.

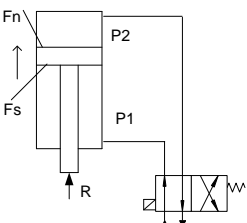
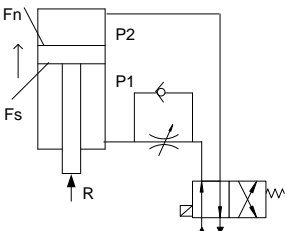
Для гидравлической аппаратуры, в которой происходит дросселирование РЖ (дроссели, распределители), уравнение расхода имеет вид:

$$Q_{дp} = \mu f d \sqrt{2 \Delta p / \rho}, \quad Q_p = \mu \pi d z x z \sqrt{2 \Delta p / \rho}, \quad (6)$$

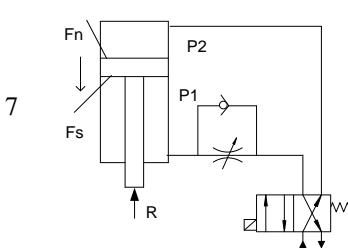
где $Q_{др}$, Q_p - расход через дроссель, распределитель; μ - коэффициент расхода; fd - площадь проходного сечения дросселя; Δp - перепад давления на щели гидроаппаратуры; ρ - плотность РЖ; dz - диаметр золотника распределителя; xz - величина открытия окна распределителя.

Математические модели гидравлических модулей с вертикальным гидравлическим цилиндром. Ниже (см. табл. 2) приводятся математические модели гидравлических модулей (блоков) с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз), которые составлены на основании рассмотренных выше уравнений неразрывности, движения подвижных элементов и уравнений расхода через гидравлическую аппаратуру.

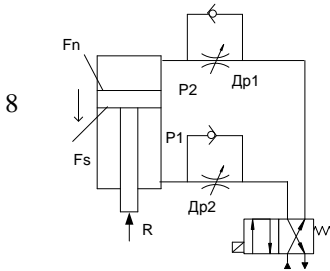
Таблица 2 – Математические модели гидравлических модулей с вертикальным ГЦ (шток ориентирован вниз)

№	Гидравлическая схема	Математическая модель модуля
1		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \left(\Phi_1 F_s - p_2 F_n + R - Rt \right); \\ \frac{dp_1}{dt} = \left(\mu \pi dz xz \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - VF_s} \right) \frac{E}{W_{01} + F_s y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left(-\mu \pi dz xz \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + VF_n} \right) \frac{E}{W_{02} - F_n y}. \end{cases}$
2		$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \left(\Phi_1 F_s - p_2 F_n + R - Rt \right); \\ \frac{dp_1}{dt} = \left(\mu fd \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - VF_s} \right) \frac{E}{W_{01} + F_s y}; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left(-\mu \pi dz xz \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + VF_n} \right) \frac{E}{W_{02} - F_n y}. \end{cases}$

3		$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{m} \left(p_1 F_s - p_2 F_n + R - R_t \right); \\ \frac{dp_1}{dt} &= (\mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - V F_s}) \frac{E}{W_{01} + F_s y}; \\ \frac{dp_2}{dt} &= \left(-\mu f d \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + V F_n} \right) \frac{E}{W_{02} - F_n y}. \end{aligned} \right.$
4		$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{m} \left(p_1 F_s - p_2 F_n + R - R_t \right); \\ \frac{dp_1}{dt} &= (\mu f d 1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_1) - V F_s}) \frac{E}{W_{01} + F_s y}; \\ \frac{dp_2}{dt} &= \left(-\mu f d 2 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_2 + V F_n} \right) \frac{E}{W_{02} - F_n y}. \end{aligned} \right.$
5		$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{m} \left(p_1 F_s + p_2 F_n - R - R_t \right); \\ \frac{dp_1}{dt} &= (-\mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + V F_s}) \frac{E}{W_{01} - F_s y}; \\ \frac{dp_2}{dt} &= \left(\mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - V F_n} \right) \frac{E}{W_{02} + F_n y}. \end{aligned} \right.$
6		$\left\{ \begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= \frac{1}{m} \left(p_1 F_s + p_2 F_n - R - R_t \right); \\ \frac{dp_1}{dt} &= (-\mu \pi d z x z \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + V F_s}) \frac{E}{W_{01} - F_s y}; \\ \frac{dp_2}{dt} &= \left(\mu f d \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - V F_n} \right) \frac{E}{W_{02} + F_n y}. \end{aligned} \right.$



$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \left(p_1 F_s + p_2 F_n - R - Rt \right) \\ \frac{dp_1}{dt} = (-\mu fd \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + VF_s}) \frac{E}{W_{01} - F_s y} ; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left(\pi dz xz \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - VF_n} \right) \frac{E}{W_{02} + F_n y} . \end{cases}$$



$$\begin{cases} \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} \left(p_1 F_n + p_2 F_s - R - Rt \right) \\ \frac{dp_1}{dt} = (-\mu fd_2 \sqrt{\frac{2}{\rho} p_1 + VF_s}) \frac{E}{W_{01} - F_s y} ; \\ \frac{dp_2}{dt} = \left(\mu fd_1 \sqrt{\frac{2}{\rho} (p_n - p_2) - VF_n} \right) \frac{E}{W_{02} + F_n y} . \end{cases}$$

Выводы. 1. Все многообразие гидравлических дроссельных приводов с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз) можно свести к восьми типовым гидравлическим модулям в зависимости от направления движения штока и наличия дросселя (или регулятора расхода) и расположения его в напорной или сливной магистралях.

2. Для описания рабочего процесса гидравлических приводов используются основные виды уравнений: неразрывности; движения подвижных элементов; расходов жидкости через аппаратуру.

3. Приведены математические модели восьми основных гидравлических модулей с вертикальным одноштоковым ГЦ (шток ориентирован вниз).

Список литературы: 1. *Иваницкая Е.П.* К вопросу о типизации гидравлических приводов // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2009. – № 4 / 10 (40). – С. 37 – 40. 2. *Иваницкая Е.П.* Математические модели гидравлических модулей с вертикальным гидравлическим цилиндром // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2009. – №5 / 6 (41). – С. 38 – 41. 3. *Лур'є З.Я., Іваніцька О.П.* Моделювання та динаміка гідравлічних систем: Навчальний посібник. – Харків: ХДПУ, 2000. – 132 с.

Надійшла до редколегії 1.10.2010